N

PAT-NO: JP359229604A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 59229604 A

TITLE: OPERATING METHOD OF DYNAMIC SYSTEM

PUBN-DATE: December 24, 1984

INVENTOR-INFORMATION:
NAME
NISHITANI, TAKUJI
MATSUMOTO, KUNIAKI
FUNABASHI, SEIJU
IBA, DAIZO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HITACHI LTD	N/A

APPL-NO: JP58103486

APPL-DATE: June 9, 1983

INT-CL (IPC): G05B013/02

US-CL-CURRENT: 705/7, 705/8

ABSTRACT:

PURPOSE: To reduce storing capacity and the time required for calculation by formulating a dynamic system as a linear multi-step determination problem, finding out a ralative cost factor and repeating the same procedure as simplex method.

CONSTITUTION: A dynamic system such as an energy control system in the iron industry is formulated so that status vectors minimizing an objective function J shown in the formula II under the linear simultaneous differential equation shown in the formula I and initial and restricted conditions. The formulated equations are decomposed in each step and variables included in each step is divided into basic variables and non-basic variables. Then, the relative cost factor is found out by using a basic reverse matrix in each step and an optimum answer satisfying optimum conditions is found out by repeating the same procedure as the symplex method. Thus, the dynamic system is operated by using the optimum answer so that the balance of the dynamic system is optimized.

⑲ 日本国特許庁（JP）　⑪特許出願公開
⑫ 公開特許公報（A）　昭59—229604

⑤Int. Cl.³ G 05 B 13/02　識別記号　庁内整理番号 8225—5H　㊸公開 昭和59年(1984)12月24日
発明の数 1
審査請求 未請求
（全 11 頁）

⑤動的システムの運用方法

㉑特　　願　昭58—103486
㉒出　　願　昭58(1983)6月9日

⑫発　明　者　西谷卓史
川崎市麻生区王禅寺1099番地株式会社日立製作所システム開発研究所内
⑫発　明　者　松本邦顕
川崎市麻生区王禅寺1099番地株式会社日立製作所システム開発研究所内
⑫発　明　者　舩橋誠寿
川崎市麻生区王禅寺1099番地株式会社日立製作所システム開発研究所内
⑫発　明　者　射場大造
日立市大みか町五丁目2番1号株式会社日立製作所大みか工場内
⑦出　願　人　株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地
⑭代　理　人　弁理士　磯村雅俊

明　細　書

1. 発明の名称　動的システムの運用方法

2. 特許請求の範囲

(1) 動的システムを線形多段決定問題として定式化し、定式化された全体の問題を各段ごとの小さい問題に分解した後、さらに各段に含まれる変数を基底変数と非基底変数に分割し、次に各段ごとの基底逆行列を用いて相対費用係数を求め、通常のシンプレックス法と同一手順を繰り返すことにより最適解を求めて、該最適解を上記動的システムの運用計画として実行することを特徴とする動的システムの運用方法。

3. 発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明は、動的システムの運用方法に関し、特に大規模システムに対して省エネルギーで設備の効率的な運用が可能な動的運用方法に関するものである。

〔発明の背景〕

製鉄業や製紙業等の例えばエネルギー管理システムのような大規模なシステムにおいては、扱うべき状態変数がきわめて多い。したがつて、従来より、各時刻におけるシステムのバランスを最適にするための運用が行われていたが、最適な動的運用を行うには至つていない。

従来、線形多段決定問題を解く代表的な方法としては、(i) Dantzig − Wolfe の分解原理によるもの（C．R．Glassey : Nested Decomposition and Multi − Stage Linear Programs , Management Science , Vol.２０，№３、P.２８２，１９７３参照）および(ii) Rosen の分割手続きによるもの（例えば、L．S．Lasdon : Optimization Theory for Large Systems , Macmillan comp , New York ,１９７０参照）がある。前者は、一般に収束性があまりよくなく、また最適解を得るためには、すべてのイテレーション（反復）における部分問題の解を記憶しておく必要がある、等の欠点がある。また、後者は、実行可能解が最後のイテレーションからでなければ得られないという欠

点がある。

上記２つの方法の他に、線形多段決定問題を現実に解くための有効な方法は、殆んどが線形計画法におけるシンプレックス法を基礎にしたものである。これらの方法は、係数行列のスパース性等を利用して記憶容量の削減を図っているが、大規模な問題を解くためにはどうしても大型計算機によらなければならないという欠点がある。

〔発明の目的〕

本発明の目的は、これら従来の欠点を改善し、演算速度が速く、しかも記憶容量が少ない線形多段決定問題の解法により省エネルギー運用および設備の効率的運用が可能な動的システムの運用方法を提供することにある。

〔発明の概要〕

本発明による動的システムの運用方法は、先ず動的システムを線形多段決定問題として定式化し、これを各段ごとの小さな問題に分解した後、さらに各段に含まれる変数を基底変数と非基底変数に分割し、次に各段ごとの基底逆行列を用いて相対費用係数を求め、通常のシンプレックス法と同じ手順を繰り返すことにより最適解を求めて、この最適解を運用計画として実行することに特徴がある。

〔発明の実施例〕

以下、本発明の実施例を、図面により説明する。

第１図は、本発明の実施例を示す多段決定問題を解く方法の概略フローチャートである。

先ず、動的システムを次の線形連立差分方程式で表す。

$$R\,y(t)+A\,u(t)=T\,y\,(t-1)+r^{t} \qquad \cdots (1)$$

$$(t=1,\ 2,\ 3\ \cdots,\ K)$$

ここで、初期条件 $y(0)$ と、上下限制約条件と、目的関数 J が次の式で与えられているものとする。

$$y(0)=y_{0} \qquad \cdots (2)$$

$$a \leqq (y(t)',\ u(t)')' \leqq b \qquad \cdots (3)$$

$$(t=1,\ 2,\ \cdots,\ K)$$

$$J=\sum_{t=1}^{K} C\,(y(t)',\ u(t)')' \rightarrow \min \qquad \cdots (4)$$

なお、「′」は行列またはベクトルの転置を表す。ただし、t は時刻を示す変数、$u(t)$ は n_u 次元の状態変数ベクトル、$y(t)$ は n_y 次元の状態変数ベクトルであり、遅れあるいは貯蔵特性をもつ変数（以下、結合変数と記す）である。A は $(m \times n_u)$ 次元、T および R は $(m \times n_y)$ 次元のマトリクスであり、r^{t} は時刻 t における外部入力を示す m 次元ベクトルである。また、C は状態変数に対する費用係数である。

動的システムの最適運用は、「前記(1)式のシステム方程式と、前記(2)式の初期条件と、前記(3)式の制約条件のもので、前記(4)式の目的関数 J を最小とする状態変数ベクトルを求めよ」という問題で定式化される。

以下、min. の場合について述べるが、max. の場合においても実質的には同じである。

前記の多段決定問題を解く手順は、第１図に示すとおりである。以下の説明では、状態変数 $y(t)$ と $u(t)$ をまとめて $x(t)'=(y(t)',\ u(t)')$ と記すことにする。

前記(1)式〜(4)式で与えられた問題において、最終時刻を τ とした問題を $P(\tau)$ と表現したとき、本発明による多段決定問題の概略の流れは、第１図のステップ１〜ステップ４となる。先ず、ステップ１では、$\tau=1$ とおいて、$P(1)$ を解く。次に、ステップ２では、時刻を１だけ進めて、$\tau=\tau+1$ とする。そして、$(\tau-1)$ 時刻の解 $x(\tau-1)$ を用いて、τ 時刻の初期解を求める。ステップ３では、$P(\tau)$ を解く。ステップ４では、$\tau=K$ であればアルゴリズムは終了し、$\tau<K$ の場合にはステップ２に戻る。

以上が多段決定問題を解く概略流れであるが、ステップ３は必ずしもすべての時刻 τ について行う必要はなく、ステップ２で数時刻分の初期解を求めてステップ３に進むこともできる。

第２図は、本発明の運用計画を求める数式の構造を示す図である。

前記(1)式〜(4)式で与えられる問題の係数行列は、第２図に示す構造を有している。第２図の最上段、つまり $t=1$ の段では、前記(1)式の Ty の項が０となるため、A と R のみが示されており、r^{t} の

みが右辺に配列される。$t=2$以降では、T，A，RがTを前式のRに重複させて順次配置され、$t=K$まで対角線上に式が配列されて、その右上と左下に"O"が置かれる。

なお、前記(2)～(4)式の条件については、第2図では明確化されていない。

以下、第1図のステップ3について詳述する。ここでは、$r=K$としてP(k)を解く手順を説明するが、$r\neq K$の場合にも全く同じである。

前記(1)式～(4)式の問題を、線形計画法を用いて解く場合、基底行列Bも同じ構造を有する。

$$B=\begin{pmatrix} B_{11} & & & & O \\ B_{21} & B_{22} & & & \\ & B_{32} & B_{33} & & \\ & & \ddots & \ddots & \\ O & & & B_{k,k-1} & B_{kk} \end{pmatrix},\ B_{tt}: m\times n_t \quad \cdots (5)$$

しかし、対角上の小行列B_{tt}は必ずしも正方ではない。

いま、正方ブロック三角行列を$\bar{B}$；

$$\bar{B}=\begin{pmatrix} \bar{B}_{11} & & & & O \\ \bar{B}_{21} & \bar{B}_{22} & & & \\ & \bar{B}_{32} & \bar{B}_{33} & & \\ & & \ddots & \ddots & \\ & & & \bar{B}_{k,k-1} & \bar{B}_{kk} \end{pmatrix},\ \bar{B}_{tt}: m\times n \quad \cdots (6)$$

とするとき、

$$B=\bar{B}\,F \quad \cdots (7)$$

と分解されたとすれば、補正行列Fは適当な置換により、(8)式に示す構造を有する。

$$F=\begin{pmatrix} G & O \\ H & I \end{pmatrix} \quad \cdots (8)$$

ここで、Iは単位行列であり、Gは正方正則行列となる。このように、本発明では、Bの特殊性を利用して計算の簡略化・局所化を図り、小さな記憶容量で大規模な問題を実用的な計算時間の範囲で解くことができるようにする。

ここで、説明中で用いる記号を、次のように定義する。

x_Bは、基底行列Bを構成する変数であつて、

$x_B{}' \triangleq (x_B(1)', x_B(2)', \cdots x_B(k)')$ とする。

$x_{\bar{B}}$ は、基底行列$\bar{B}$を構成する変数であつて、

$x_{\bar{B}}{}' \triangleq (x_{\bar{B}}(1)', x_{\bar{B}}(2)', \cdots\cdots, x_{\bar{B}}(k)')$ とする。

x_N は、x_B 以外の変数であつて、

$x_N{}' \triangleq (x_N(1)', x_N(2)', \cdots\cdots, x_N(k)')$ とする。

$x_{\bar{N}}$ は、$x_{\bar{B}}$ 以外の変数であつて、

$x_{\bar{N}}{}' \triangleq (x_{\bar{N}}(1)', x_{\bar{N}}(2)', \cdots\cdots x_{\bar{N}}(k)')$ とする。

x_S は、$x_{\bar{B}}$ に含まれるが、x_B には含まれない変数である。

x_E は、$x_{\bar{N}}$ に含まれるが、x_N には含まれない変数である。

$x_{\bar{B}-S}$ は、x_B にも $x_{\bar{B}}$ にも含まれる変数である。

$x_{\bar{N}-E}$ は、x_N にも $x_{\bar{N}}$ にも含まれる変数である。

線形計画法におけるシンプレックス法を用いてP(k)を解く場合の標準形を、次のように表現する。

$$\begin{cases} Z=Z_0+\lambda_N\,x_N & \cdots (9) \\ x_B=r_0+Q\,x_N & \cdots (10) \end{cases}$$

ここで、λ_Nはx_Nの相対費用係数であり、Qはシンプレックス・タブローである。同じようにして、$\bar{B}$から求めた標準形を次のように表現する。

$$\begin{cases} Z=\bar{Z}_0+\bar{\lambda}_{\bar{N}}\,x_{\bar{N}} & \cdots (11) \\ x_{\bar{B}}=\bar{r}_0+\bar{Q}\,x_{\bar{N}} & \cdots (12) \end{cases}$$

いま、$\bar{B}$を用いて得られる$\bar{\lambda}_{\bar{N}}$，$\bar{Q}$ から、簡単な計算によりλ_N，Qが求められるならば、記憶容量の削減と計算時間の短縮が可能となる。その理由は、$\bar{B}^{-1}$という行列は、$\bar{B}_{tt}$が正方正則であるため、$\bar{B}^{-1}$を用いた計算は後述のように実質的には、K個の小行列$\bar{B}_{tt}{}^{-1}$を用いた計算に帰着するからである。

第3図は、本発明により運用計画を求める場合の計算方法を示す図である。

いま、$\bar{Q}$は、第3図に示す構造を有するものとする。この$\bar{Q}$を用いれば、前式(11)式と(12)式の標準形を前記(9)式と(10)式の標準形に変換することができる。つまり、x_S を基底変数から除き、x_E を基底変数とする基底変換を実行すればよい。前式(12)式からは、x_S を次のように表現することができる。

$$x_S=\bar{r}_{0S}+G\,x_E+Q_{S,\bar{N}-E}\,x_{\bar{N}-E} \quad \cdots (13)$$

ここで、G行列は、$\bar{Q}$のうちx_S に対応した行とx_E に対応した行の交点に位置する要素からな

る行列である。また、$\bar{Q}_{S,\bar{N}-H}$ は、x_S に対応した行のうちG行列を除いた部分からなる行列である。上記(13)式より、次式が導入される。

$$x_H = -G^{-1}\bar{r}_{0S} + G^{-1}x_S - G^{-1}Q_{S,\bar{N}-H}\,x_{\bar{N}-H} \quad \cdots (14)$$

上記(14)式を、上記(11)式，(12)式に代入すると、次式が導入される。

$$\begin{cases} Z = \bar{Z}_0 + \bar{\lambda}_H\,x_H + \bar{\lambda}_{\bar{N}-H}\,x_{\bar{N}-H} \\ \quad = (\bar{Z}_0 - \bar{\lambda}_H\,G^{-1}\,\bar{r}_{0S}) + \bar{\lambda}_H\,G^{-1}x_S + (\bar{\lambda}_{\bar{N}-H} \\ \qquad - \bar{\lambda}_H\,G^{-1}\,\bar{Q}_{S,\bar{N}-H})\,x_{\bar{N}-H} \quad \cdots (15) \\ x_{\bar{B}-S} = \bar{r}_{0,\bar{B}-S} + \bar{Q}_{\bar{B}-S,H}\,x_H + \bar{Q}_{\bar{B}-S,\bar{N}-H}\,x_{\bar{N}-H} \\ \quad = (\bar{r}_{0,\bar{B}-S} - \bar{Q}_{\bar{B}-S,H}\,G^{-1}\,\bar{r}_{0S}) + \bar{Q}_{\bar{B}-S,H}G^{-1} \\ \qquad x_S + (\bar{Q}_{\bar{B}-S,\bar{N}-H} - \bar{Q}_{\bar{B}-S,H}\,G^{-1}\,\bar{Q}_{S,\bar{N}-H}) \\ \qquad x_{\bar{N}-H} \quad \cdots (16) \end{cases}$$

前記(9)式，(10)式と上記(14)～(16)式を比較すると、λ_N およびQは次式から求められることが判る。

$$\lambda_n = \begin{cases} \bar{\lambda}_H\,G^{-1} & (x_S \text{ に対して}) \\ \bar{\lambda}_{\bar{N}-H} - \bar{\lambda}_H G^{-1}\bar{Q}_{S,\bar{N}-H} & (x_{\bar{N}-H} \text{ に対して}) \end{cases} \quad \cdots (17)$$

$$\begin{pmatrix} Q_H \\ Q_{\bar{B}-S} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G^{-1} & -G^{-1}\bar{Q}_{S,\bar{N}-H} \\ \bar{Q}_{\bar{B}-S,H}G^{-1} & \bar{Q}_{\bar{B}-S,\bar{N}-H} - \bar{Q}_{B-S,H}G^{-1}\bar{Q}_{S,\bar{N}-H} \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{cc} \uparrow & \uparrow \\ (x_S \text{ に対応}) & (x_{\bar{N}-H} \text{ に対応}) \end{array} \quad \cdots (18)$$

ただし、Q_H は x_H に対するQ行列，$Q_{\bar{B}-S}$ は $x_{\bar{B}-S}$ に対するQ行列である。

第3図においては、x_{S1}，x_{S2} の各列と x_{H1}，x_{H2} の各行が斜線で示され、各行列の交点に位置するG行列と、それらG行列を除いた $\bar{Q}_{S1}$，$\bar{Q}_{S2}$ の各行列が確定できる。

以上のように、$\bar{\lambda}_{\bar{N}}$ と $\bar{Q}$ より λ_N とQを求めることができるので、これらを用いてP(K)を解くことにする。

第4図は、第1図におけるステップ3、つまりP(K)を解く手順を示すフローチャートである。

ステップ11では、t←K，$\mathrm{i\bar{O}PT}$←0に設定する。ここで、$\mathrm{i\bar{O}PT}$は最適解が求められているか否かを示すフラグである。ステップ12では、前記(11)式，(12)式から $\bar{\lambda}_{\bar{N}}^{\,t}$ および $\bar{Q}^t$ を求めるとともに、前記(17)式、(18)式から $\lambda_N^{\,t}$ を求める。ここで、右肩の添字^t は、$x_{\bar{N}}(t)$ または $x_N(t)$ に対する量であることを示す。ステップ13では、$\lambda_N^{\,t}$ が最適性の条件を満足していればステップ14に進み、また満足していない場合にはステップ15に進む。

ステップ14では、t←t－1としてステップ12以下の手順を繰り返す。ただし、t＝1の場合は$\mathrm{i\bar{O}PT}$のチェックを行い、$\mathrm{i\bar{O}PT}$＝0であれば最適解を得てアルゴリズムは終了するが、$\mathrm{i\bar{O}PT}$＝1であればステップ11以下の手順を繰り返す。ステップ15では、$\lambda_N^{\,t}$ のうち、絶対値が最大のものを求める。これに対応した変数を $x_{N,h}(t)$ とし、$x_{N,h}(t)$ に対応するQ行列のうち列 Q_h のみを求める。Q_h を用いて解の改善を行う。このステップは、シンプレックス法と同じような手順で行うことができる。また、この Q_h は、次の計算のために記憶しておく。ステップ16では、x_S，x_H の中に、同じ時刻のものがある場合、両者の間で基底変換が可能であれば、基底変換を実行する。このとき、記憶している Q_h に対しても、時刻tの部分を変更しておく。そしてフラグ$\mathrm{i\bar{O}PT}$を"1"に設定し、ステップ12以下の手順を繰り返す。

以下、第4図におけるステップ12の詳細な説明、すなわち前記(11)式中の $\lambda_{\bar{N}}^{\,t}$ を求める方法について説明する。$\lambda_{\bar{N}}^{\,t}$ の意味は、$x_{\bar{N}}(t)$ に対する目的関数Zの変化割合である。したがつて、$x_{\bar{N}}(t)$ が $\Delta x_{\bar{N}}(t)$ だけ変化したときのZの変化ΔZを求めればよい。t時刻の変数による目的関数値を、Z^t のように表すことにする。これによつて、次の式で表すことができる。

$$\begin{cases} \Delta Z^t = C_{\bar{N}}^{\,t} - C_{\bar{B}}^{\,t}\,B_{tt}^{-1}\,A_{\bar{N}})\,\Delta x_{\bar{N}}(t) \\ \qquad \triangleq \bar{\lambda}_{\bar{N}}^{\,t}\,\Delta x_{\bar{N}}(t) \quad \cdots (19) \\ \Delta x_{\bar{B}}(t) = \bar{Q}_{tt}\,\Delta x_{\bar{N}}(t) \quad \cdots (20) \end{cases}$$

また、(t＋1)時刻に対しては、次式で求めることができる。

$$\begin{cases} \Delta Z^{t+1} = C_{\bar{B}}^{\,t+1} \cdot \Delta x_{\bar{B}}(t+1) \\ \qquad = C_{\bar{B}}^{\,t+1} \cdot \bar{B}_{t+1,t+1}^{-1} \cdot T \cdot \Delta x(t) \\ \qquad = C_B^{\,t+1} \cdot B_{t+1,t+1}^{-1}\,\{T_{\bar{B}}\Delta x_{\bar{B}}(t) + T_{\bar{N}}\Delta x_{\bar{N}}(t)\} \\ \qquad = C_{\bar{B}}^{\,t+1} \cdot B_{t+1,t+1}^{-1}\,(T_{\bar{B}} \cdot \bar{Q}_{tt} + T_{\bar{N}})\,\Delta x_{\bar{N}}(t) \end{cases}$$

$$\left\{\begin{array}{ll}\triangleq \bar{\lambda}_{\bar{N}}^{t+1}\ \Delta x_{\bar{N}}(t) & \cdots (21)\\ \Delta x_{\bar{B}}(t+1) = \bar{B}_{t+1,\ t+1}^{-1}\cdot T\cdot \Delta x(t) & \\ \qquad = \bar{B}_{t+1,\ t+1}^{-1}(T_{\bar{B}}\cdot \bar{Q}_{tt}+T_{\bar{N}})\ \Delta x_{\bar{N}}(t) & \\ \qquad \triangleq \bar{Q}_{t+1,\ t}\ \Delta x_{\bar{N}}(t) & \cdots (22)\end{array}\right.$$

同じようにして、（$t+2$）〜Kの時刻に対してΔZ^{t+i}，$\Delta x_{\bar{B}}(t+i)$，$i=2$，3，…K－tを求めると、次のようになる。

$$\left\{\begin{array}{ll}\Delta Z^{t+i} = (C_{\bar{B}}^{t+i}\ \bar{B}_{t+i,\ t+i}^{-1}\ T_{\bar{B}}\bar{Q}_{t+i-1,\ t+i-1}) & \\ \qquad \Delta x_{\bar{N}}(t) & \cdots (23)\\ \Delta x_{\bar{B}}(t+i) = \bar{B}_{t+i,\ t+i}^{-1}\ T_{\bar{B}}\bar{Q}_{t+i-1,\ t+i-1})\cdot \Delta x_{\bar{N}}(t) & \\ \qquad \triangleq \bar{Q}_{t+i,\ t}\ \Delta x_{\bar{N}}(t) & \cdots (24)\end{array}\right.$$

したがつて、前記(19)式〜(20)式より$\bar{\lambda}_{\bar{N}}^{t}$と$\bar{Q}_{j,\ t}$（$j=t$，…K）を求めることができる。ここで、$x(t)'=(y(t)',\ u(t)')$であり、T行列は$y(t)$に対してのみ存在することを考慮すれば、計算量は大幅に減少させることができる。すなわち、$\bar{Q}t_{+i,\ t}$はすべて計算をする必要はなく、$y(t+i)$が基底変数$x_{\bar{B}}(t+i)$に含まれる場合、その行に対応したもののみを求めればよい。

第5図は、本発明を適用したエネルギー管理システムを示す図であり、第6図は計算条件を示す図、第7図〜第12図は第5図の運用計画の結果を示す図である。

第5図において、1B〜4Bはボイラであり、1Bと3Bが高炉ガス（BFG）燃焼ボイラ、2Bはコークス炉ガス（C$\bar{\text{O}}$G）燃焼ボイラである。また、1T〜3Tは蒸気タービンであり、1Tと2Tは抽気背圧タービン、3Tは抽気復水タービンである。

このシステムにおける購入エネルギーは、石炭、買電、重油、LPGであるが、石炭は形態を変え、コークス炉でコークス炉ガス（COG）を、高炉で高炉ガス（BFG）を、それぞれ副生する。これらのガスは工場に供給されるとともに、残りのガスは発電所のボイラー燃料として有効利用される。自家発電設備で発電を行つた後の蒸気は、工場用蒸気として消費される。

副生ガス不足時の補充エネルギーとして、C$\bar{\text{O}}$G不足の場合にはLPGを、ボイラー用燃料不足時は重油を使用する。また、自家発電された電力と買電は工場に供給されるとともに、酸素プラントにおいて酸素を製造し工場に供給する。

これらのエネルギーは、次のような関係を有する。

(i)エネルギーの種類が多く、また相互に関連をもつている。(ii)エネルギーの発生、消費設備が多く、生産操業状況に伴い、発生エネルギー量、消費エネルギー量ともに、時々刻々と変化する。(iii)買電単価が時間帯によつて異なる。(iv)高炉ガス・コークス炉ガス、酸素は貯蔵設備（ホルダー）により一定量までの貯蔵が可能である。

以上の関係により、このような産業用自家発電設備の運用計画の目的は、(a)電力コストの低減、(b)副生ガスの有効利用、(c)発電プラントの運転効率の向上である。

上記運用計画の目的を実現するため、多段決定問題の解を求めて、運用計画を決定する。

先ず、第5図のエネルギー管理システムに関し、各種の記号を次のように定義する。ここで、(t)は、t時刻の状態変数量であることを示す。

$w_j(t)$は発電出力（MW），（$j=1$，2，3)、$x_j(t)$は中圧系抽気量（T／H），（$j=1$，2，3）、$y_j(t)$は低圧系抽気または背気量（T/H)，（$j=1$，2，3）、$z_j(t)$は復水量（T／H），（$j=3$）、$s_j(t)$は主蒸気量（T／H），（$j=1$，2，3）、$t_j(t)$は中圧系タービンバイパス流量（T／H），（$j=1$，2）、$u_j(t)$は低圧系タービンバイパス流量（T／H），（$j=1$，2）、P_M^tは工場の中圧蒸気消費量（T／H）、P_L^tは工場の低圧蒸気消費量（T／H）、$e_j(t)$はボイラ蒸発量（T／H），（$j=1$，2，3，4）、C_B^tは買電単価（K￥/MWH）、C_o^tは重油による蒸気発生コスト（K￥／T）、C_e^tはLPG単価（K￥/N㎥）、E^tは工場の電力使用量（MW）、M^tは買電の契約電力量（MW）、$E_0(t)$は酸素プラントの電力使用量（MW）、$x_e(t)$は酸素プラントの酸素製造量（N㎥／H）、$h_c(t)$はCOG貯蔵量（×10^3N㎥）、$h_b(t)$はBFG貯蔵量（×10^3N㎥）、$h_o(t)$は酸素ガス貯蔵量（N㎥）、x_c^tはCOG発生量（×10^3N㎥／

H）、$x_b{}^t$はBFG発生量（×10^3N㎥／H）、$E_p(t)$は買電量（MWH／H）、$G_p(t)$はLPG購入量（×10^3N㎥/H）をそれぞれ示す。

第5図のエネルギー管理システムの最適運用計画を決定するための多段決定問題を定式化する。

(a)コークス炉ガス貯蔵量$h_c(t)$、高炉ガス貯蔵量$h_b(t)$、酸素貯蔵量$h_o(t)$の変化は、(25)式、(26)式、(27)式で定式化する。

$$\begin{cases} h_c(t)=h_c(t-1)+x_c{}^t-(y_{c1}(t)+y_{c2}(t)+y_{c3}(t)) & \cdots (25) \\ h_b(t)=h_b(t-1)+x_b{}^t-(y_{b1}(t)+y_{b2}(t)+y_{b3}(t)+y_{b4}{}^t) & \cdots (26) \\ h_o(t)=h_o(t-1)+x_o(t)-y_o{}^t & \cdots (27) \end{cases}$$

(b)買電は、契約電力量以下であり、発電量は工場の電力使用量と酸素プラントの電力使用量の和を越えてはならない。

$$\begin{cases} E^t+E_0(t)-\sum_{j=1}^{3} w_j(t) \leq M^t & \cdots (28) \\ \sum_{j=1}^{3} w_j(t) \leq E^t+E_0(t) & \cdots (29) \end{cases}$$

(c)工場の中圧及び低圧蒸気需要量を満足すること。

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{3} x_j(t)+\sum_{j=1}^{3} t_j(t) \geq P_M{}^t & \cdots (30) \\ \sum_{j=1}^{3} y_j(t)+\sum_{j=1}^{3} u_j(t) \geq P_L{}^t & \cdots (31) \end{cases}$$

(d)ボイラに関する蒸気バランスを満足すること。

$$\begin{cases} e_1(t)=s_1(t)+t_1(t)+u_1(t) & \cdots (32) \\ \sum_{j=2}^{4} e_j(t)=\sum_{j=2}^{3} s_j(t)+t_2(t)+u_2(t) & \cdots (33) \end{cases}$$

(e)タービンに関する蒸気バランスを満足すること。

$$\begin{cases} s_1(t)=x_1(t)+y_1(t) & \cdots (34) \\ s_2(t)=x_2(t)+y_2(t) & \cdots (35) \\ s_3(t)=x_3(t)+y_3(t)+z_3(t) & \cdots (36) \\ s_3(t)-x_3(t) \leq 115.0 & \cdots (37) \end{cases}$$

ここで、上記(37)式は、3Tタービンの中圧段通過蒸気に対する制約である。

(f)タービンの蒸気消費特性を満足すること。

$$\begin{cases} w_1(t)=0.05x_1(t)+0.12y_1(t)-2.3 & \cdots (38) \\ w_2(t)=0.08x_2(t)+0.14y_2(t)-3.2 & \cdots (39) \\ w_3(t)=0.10x_3(t)+0.18y_3(t)+0.26z_3(t)-4.2 & \cdots (40) \end{cases}$$

(g)ボイラの蒸発量特性を満足すること。

$$\begin{cases} e_1(t)=1.3y_{b1}(t) & \cdots (41) \\ e_2(t)=7.9y_{c1}(t) & \cdots (42) \\ e_3(t)=1.3y_{b2}(t) & \cdots (43) \end{cases}$$

(h)工場の合成C$\bar{\text{O}}$Gガス需要量を満足すること。

$$x_e(t)+y_{c3}(t)=y_e{}^t \quad \cdots (44)$$

(i)酸素プラントの特性を満足すること。

$$x_0(t)=20\times E_0(t) \quad \cdots (45)$$

以上に述べた上記(25)式～(45)式が、前記(1)式に示すシステム方程式である。

次に、前記(3)式に示す上下限制約について述べる。先ず、各ガスホルダーに対する上下限値、ボイラ蒸発量の上下限値、酸素製造量の上下限値を、第6図に示す。また、各タービンの特性に対する上下限値を、第7図に示す。すなわち、第6図では、COG貯蔵量$h_c(t)$、BFG貯蔵量$h_b(t)$、酸素ガス貯蔵量$h_o(t)$、各ボイラ蒸発量$e_1(t)$～$e_4(t)$、および酸素プラントの酸素製造量$x_o(t)$における最大値、最小値が示されている。また、第7図では、発電出力$w_j(t)$、主蒸気量$s_j(t)$、中圧系抽気量$x_j(t)$、低圧抽気量$y_j(t)$、および復水量$z_j(t)$における最大値、最小値を、各蒸気タービン1T～3Tごとに示している。

以上の制約条件を満足し、購入エネルギー費を最小とする運用計画を求める。したがつて、目的関数は次のような購入エネルギー費の総和Jを考える。

$$J=\sum_{t=1}^{K}(C_E{}^t\cdot E_p(t)+C_G{}^t\cdot G_p(t)+C_0{}^t\ e_4(t))\rightarrow \min$$

ここで、購入エネルギーのうち、石炭については、コークス炉の操業が常に一定であるとして、評価関数には含めていない。

以上で、第5図に示すエネルギー管理システムの運用計画を多段決定問題として表現した。次は、これに具体的なエネルギー消費量とCOG，BFG発生量を与えて、計算する例を示す。

先ず、第8図に、工場の電気使用量E^t，中圧蒸気消費量$P_M{}^t$，低圧蒸気使用量$P_L{}^t$，COG発生量$x_c{}^t$，BFG発生量$x_b{}^t$，酸素ガス需要量$y_0{}^t$，合成COG需要量$y_e{}^t$，BFG需要量$y_{b4}{}^t$，契約

電力料M^t および買電単価C_E^t，ＬＰＧ単価C_G^t，重油による蒸気発生コストC_0^tを示す。最上段の目盛は時刻数である。これらの条件のもとで、ホルダー初期値を次の値にした場合の計算結果を、第９図～第１２図に示す。ここで、計算する時刻数はＫ＝４８である。

第９図は、ＣＯＧ，ＢＦＧの貯蔵量$h_c(t)$，$h_b(t)$の変化を示す図であり、第１０図は各ボイラの蒸発量$e_1(t)$～$e_4(t)$を示す図であり、第１１図は各タービンの発電量$w_1(t)$～$w_5(t)$を示す図であり、第１２図は買電量$E_p(t)$およびＬＰＧ購入量を示す図である。

第９図から明らかなように、ＣＯＧホルダーは、合成ＣＯＧの需要が増大する時間帯にその貯蔵量を放出して、ＬＰＧの購入量を減少させるように運用され、ＢＦＧホルダーは電力・蒸気の需要量が増大する時間帯にその貯蔵量を放出し、重油の使用量を減少させるように運用することが望ましい。

第１０図から、１Ｂボイラーは買電単価の高い時間帯と電気・蒸気の需要が多い時間帯に蒸気発生量が多くなることがわかる。これは、１Ｂボイラーは、１Ｔタービンにのみ蒸気を供給しており、しかも１Ｔタービンの運転効率は他のタービンより悪いため、買電単価が高い場合と、蒸気需要が多い場合に発電量が増加するためである。

２Ｂボイラは、ＬＰＧの購入量を減らすため、合成ＣＯＧガスの需要が大のとき蒸発量が減少する。第１１図のうち、１Ｔ・２Ｔタービンは買電単価が高い場合と、蒸気・電力需要が多い場合に発電量が大きくなるが、ＢＦＧに余裕のあるときには、１Ｔタービン、ＣＯＧに余裕があるときは２Ｔタービンの出力が大きくなる傾向がある。３Ｔタービンは、最も効率のよいタービンであるため、常に大きな発電量である。ただし、復水発電は買電単価の高い場合と副生ガスの余剰がある場合に限られる。以上のような運用を行った場合、第１２図に示すように、買電単価が高いときの買電量はきわめて小さく、購入エネルギー費用を少なくすることができる。

すなわち、この計算例での総エネルギー費用は、約３０３００Ｋ￥であり、動的最適化をしない場合の約３２６５０Ｋ￥に対し、約８％のエネルギー・コスト削減が可能となる。

この計算例に必要な記憶容量は、約２５０Ｋバイト、計算所要時間は約３８秒である（例としてHITACM-180を使用）。

すなわち、従来の方法に比べて、計算所要時間，必要記憶容量ともに、約１／３で運用計画を策定することが可能である。

〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明によれば、大規模な動的システムの運用計画を実用上無理のない記憶容量と計算所要時間で求めることができるので、大規模システムの省エネルギーおよび運転コスト低減等の効果を奏する。

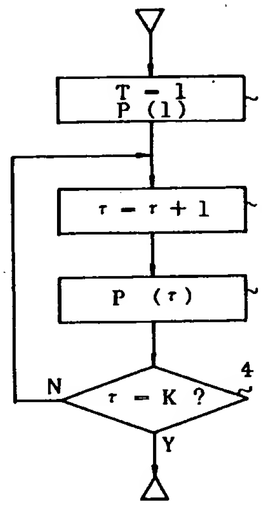
4.図面の簡単な説明

第１図は本発明の実施例を示す多段決定問題を解く方法のフローチャート、第２図は本発明の運用計画を求める数式の構造を示す図、第３図は本発明により運用計画を求める場合の計算方法を示す図、第４図は第１図のP(K)を解くステップの詳細フローチャート、第５図は本発明を適用したエネルギー管理システムを示す図、第６図は第５図の計算条件を示す図、第７図～第１２図はそれぞれ第５図の運用計画の結果を示す図である。

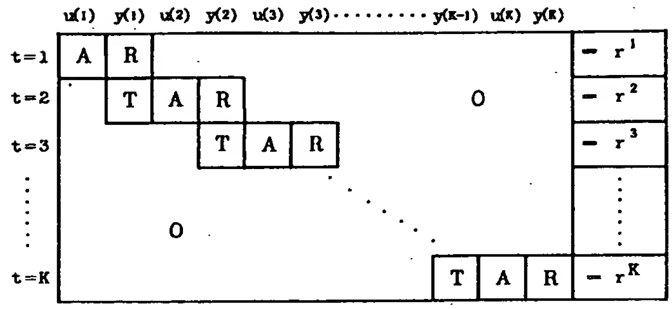
２１：コークス炉、２２：ＣＯＧホルダー、23：高炉、２４：ＢＦＧホルダー、２５：酸素プラント、２６：酸素ホルダー、２７：タービン・バイパス、２８：工場。

特許出願人　株式会社　日立製作所
代　理　人　弁理士　磯　村　雅　俊

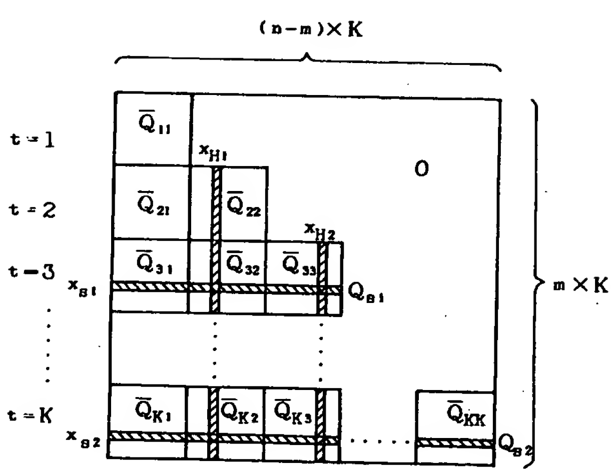
第 1 図



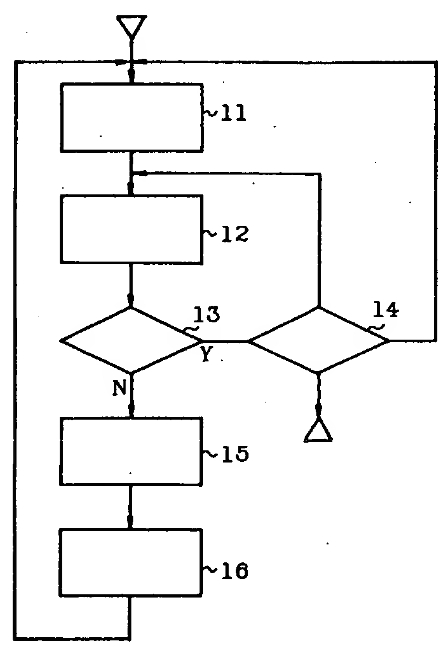
第 2 図



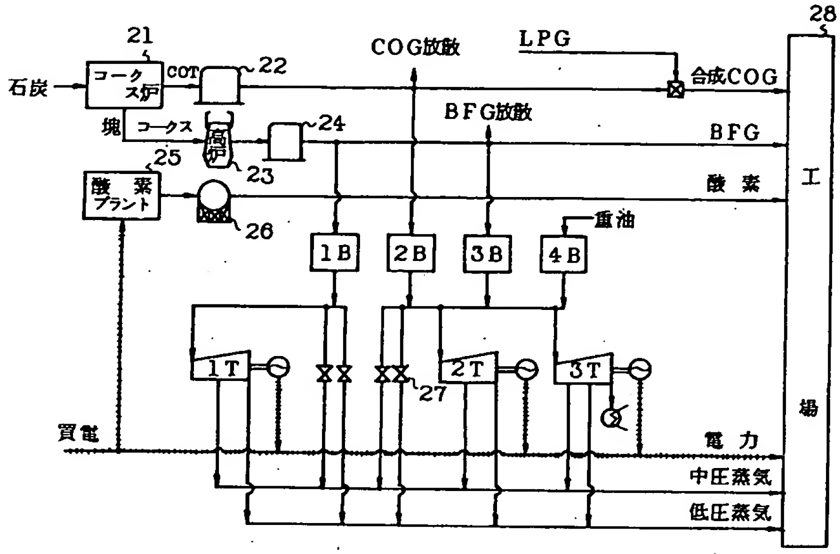
第 3 図



第 4 図



第 5 図



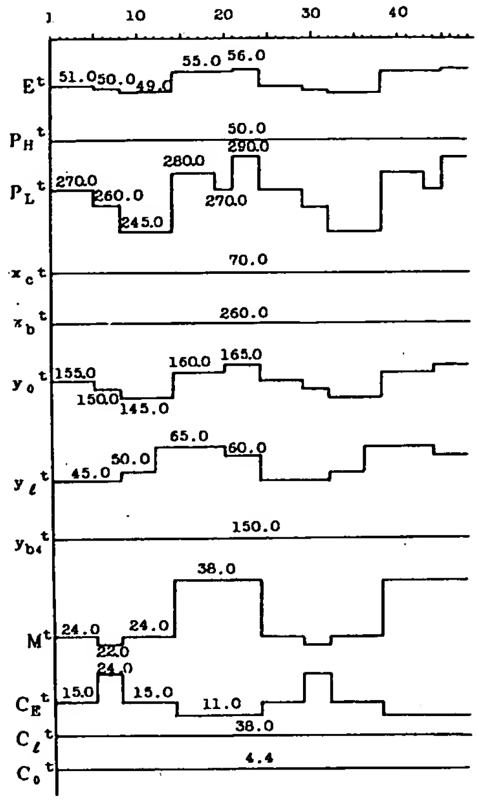
第 6 図

	$h_c(t)$	$h_b(t)$	$h_0(t)$	$e_1(t)$	$e_2(t)$	$e_3(t)$	$e_4(t)$	$x_0(t)$
最大値	5.0	10.0	30.0	70.0	118.0	15.0	30.0	140.0
最小値	30.0	80.0	150.0	100.0	157.0	60.0	120.0	170.0

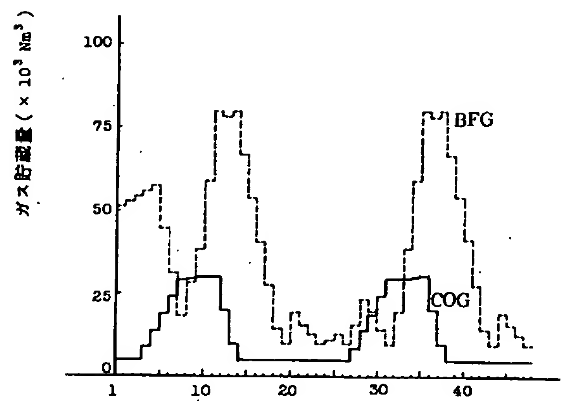
第 7 図

	出力 $w_i(t)$		主蒸気量 $S_j(t)$		中圧抽気量 $x_j(t)$		低圧抽気量 $y_j(t)$		復水量 $Z_j(t)$	
	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値
1 T	12.0	3.0	125.0	—	25.0	—	100.0	10.0	—	—
2 T	16.5	5.0	126.0	—	42.0	10.0	96.0	10.0	—	—
3 T	22.5	5.0	170.0	—	55.0	—	—	—	40.0	8.0

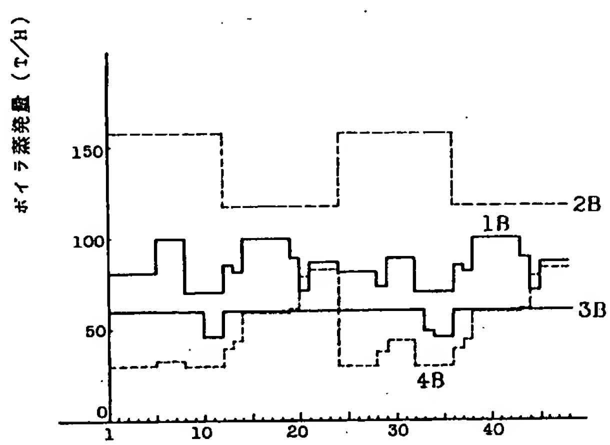
第 8 図


1
10
20
30
40
E^t
51.0
50.0
49.0
55.0
56.0
P_H^t
50.0
P_L^t
270.0
260.0
245.0
280.0
290.0
270.0
x_c^t
70.0
x_b^t
260.0
y_0^t
155.0
150.0
145.0
160.0
165.0
y_ℓ^t
45.0
50.0
65.0
60.0
y_{b4}^t
150.0
M^t
24.0
22.0
24.0
38.0
C_E^t
15.0
24.0
15.0
11.0
C_ℓ^t
38.0
C_0^t
4.4

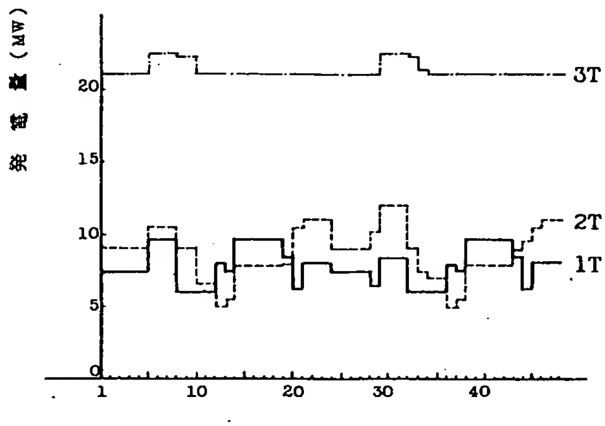
第 9 図


ガス貯蔵量（× 10³ Nm³）
100
75
50
25
0
1
10
20
30
40
BFG
COG

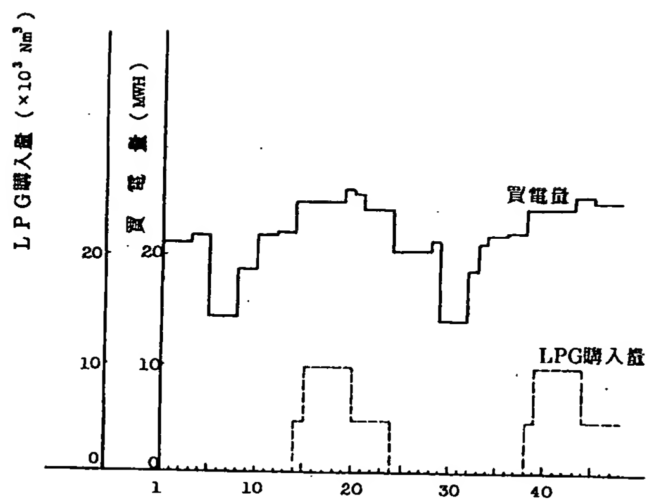
第 10 図


ボイラ蒸発量（T/H）
150
100
50
0
1
10
20
30
40
2B
1B
3B
4B

第 11 図


発電量（MW）
20
15
10
5
0
1
10
20
30
40
3T
2T
1T

第 12 図


LPG購入量（×10³ Nm³）
買電量（MWH）
20
10
0
1
10
20
30
40
買電量
LPG購入量